



Høgskolen i **Hedmark**

Avdeling Evenstad

Institutt for skog- og utmarksfag

Jonas Borge Halvorsen

**Nøyaktigheten på tradisjonelle dendrometre ved
estimering av brysthøydiameter og
grunnflateareal på trestammer i forbindelse med at
trestammer ikke er sirkulære**

The accuracy of traditional dendrometrics when estimating diameter at
breastheight and basal area of tree stems, in regard to the non-
circularity of tree stem

Bacheloroppgave

Bacheloroppgave 6EV299

Bachelor i Skogbruk

28. April 2017

Samtykker til utlån hos høgskolebiblioteket

JA ☒ NEI ☐

Samtykker til tilgjengeliggjøring i digitalt arkiv Brage

JA ☒ NEI ☐

Sammendrag

I skogbruket behandles trær som om de er sirkulære i form. Trær er tilnærmet sirkulære i form men de er ikke perfekt sirkulære. Berettigelsen for denne påstanden er at de fleste trestammer har ulike diameterlengder i ulike retninger og den maksimale og minimale diameterlengden ofte krysser i omtrent 90 graders vinkel. Det vil derfor bli undersøkt hvilken av målemetodene; kryssklaving eller enkeltklaving som tar høyde for treets noe uregelmessige sirkulæritet, med andre ord hvilke av målemetodene som gir det mest nøyaktige estimatet på treets brysthøydiameter og grunnflateareal. Det vil også bli undersøkt om størrelsen på treets stammeform har en innvirkning på hvor stor forskjell i diameter estimat de ulike målemetodene vil gi.

For å finne ut av dette ble det forutsatt at måling med målebånd vil gi et forventingsrett estimat på trestammens brysthøydiameter og grunnflateareal. Målemetodene ble testet på 150 trær i Evenstadlia. Trærne ble stratifisert i tre ulike klasser med ulike diametermål, 50 trær i hver klasse. Hvert tre ble dermed målt 3 ganger, en gang for hver metode; kryssklaving, enkeltklaving og måling med målebånd.

Etter endt studium gis det støtte til bruken av kryssklaving i stedet for enkeltklaving ved måling av brysthøydiameter på trær over 35 cm. i diameter. Likevel vil diskusjonen om bruk av kryssklaving inkludere flere faktorer som må tas i betraktning og det vil derfor ikke kunne gis en definitiv konklusjon på om det i enkelte tilfeller bør benyttes kryssklaving ved måling av brysthøydiameter i prøveflatetaksering.

Abstract

In forestry, tree stems are treated as if their shape were perfectly circular. However, tree stems are approximate circular in shape, but their shape are not perfectly circular. The justification offered for the approach of non-circularity is that most stems have different diameters in different directions, and that maximum and minimum diameters often intersect at approximately right angles. That is why the following measurement methods; cross-calipering, single calipering and girth measurement will be tested for the ability to account for the non-circularity of the tree stems, in other words, which of the measurement methods would give the most accurate estimate of the breastheight diameter and basal area of the tree. There will also be investigations to see if the size of the tree stem has an impact on the difference in diameter estimates that each of the measurement methods will provide.

To determine this, it was assumed that girth measurement would provide the right expectation of estimate when it comes to breastheight diameter and basal area of the tree stem. The measurement methods were tested on 150 trees in Evenstadlia. The trees were stratified into three different classes with specific diameter measurements, 50 trees in each class. Every tree where measured three times, one time for each different method; cross-calipering, single calipering and girth measurement.

In the end of the study, there has been found support to the use of cross-calipering instead of single calipering when trees of breastheight diameter over 35 cm. are measured. However, the discussion of the use of cross-calipering when measuring tree stems will involve several factors which has to be concluded before there will be given a definitive conclusion if there should be practiced cross-calipering when measuring breastheight diameter of the tree stems in field sampling.

Innhold

1. Innledning	5
1.1 Bakgrunn	5
1.2 Nøyaktighet i skogtaksering	5
1.2 Måling av brysthøydiameter	6
1.3 Problemstilling	9
1.3.1 Hypotese 1	9
1.3.2 Hypotese 2	9
1.3.3 Hypotese 3	9
2. Material og metode	10
2.1 Material	10
2.1.1 Utvalg og utvalgsmetode	10
2.1.2 Kriteriene for prøvetre	10
2.1.3 Studieområde	11
2.1.4 Hjelpemidler	11
2.2 Metode	12
2.2.1 Feltregistrering	12
2.2.2 Databehandling	13
2.2.3 Statistisk analyse	13
3. Resultat	15
3.1 Sammenligning av brysthøydiameter og grunnflateareal som følge av de ulike målemetodene	15
3.1.1 Diameterklasse 1	15
3.1.2 Diameterklasse 2	16
3.1.3 Diameterklasse 3	16
3.1.4 Uten oppdeling i diameterklasse	17
3.1.4 Resultattabell	18
4. Diskusjon	19
4.1 Feilkilder	20
4.2 Validitet	21
4.2.1 Utvalg og utvalgsmetode	21
4.2.2 Forventningsrett estimat	22
4.3 Nøyaktighet i forhold til kostnad	23
4.4 Konklusjon	25
5. Referanser	26
6. Vedlegg	28

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Forvaltning av en skogeiendom krever oversikt over arealer med skog i endring. Administrasjon av en skogeiendom forenkles ved bruk av skogbruksplan. Skogbruksplanen inneholder en oversikt over eiendommens ressurser, areal og miljø. Forvalter kan bruke informasjonen i skogbruksplanen til å fatte strategiske og operasjonelle beslutninger for eiendommen. Feilaktige opplysninger i skogbruksplanen kan føre til at forvalter gjør feil beslutninger med konsekvens for skogeier. Om det er feil i skogens estimerte tømmervolum kan konsekvensene blant annet medføre en feilberegning av balansekvantum og balanseinntekt, feil avvirkningsberegning og feilberegning av salgsverdi (Nersten & Hobbelstad, 1994). For at skogeier skal kunne fatte riktige beslutninger om eiendommen forutsettes det at opplysningene i skogbruksplanen samsvarer med skogens faktiske tilstand og at opplysningene er fullstendige nok som beslutningsgrunnlag. Om opplysningene i skogbruksplanen skal samsvare med skogens faktiske tilstand må data også oppdateres etter hvert som det gjennomføres nye tiltak i skogen.

For å stimulere til produksjon av skogbruksplaner i næringen, gir staten ut tilskudd og skattefordeler til skogeier ved kjøp av skogbruksplan. I henhold til skogbrukslovens forskrift om tilskudd til skogbruksplanlegging med miljøregistreringer, settes det krav om at de ulike registreringene i taksten skal gjennomføres i samsvar med gitte kvalitets- og metodekrav om det skal gis tilskudd (2007, § 4). Disse kravene fremlegges av departementet. I fremtidig skogbruksplanlegging kan det bli satt nye rammevilkår for skogbruksplanen om det skal gis statsbidrag. Skogmeldingen som kom i 2016 fremla et potensielt fokus på at det skal settes krav til skogbruksplan som sluttprodukt i stedet for krav til takseringsmetode, selv om det enda ikke er utarbeidet konkrete krav til produkt enda (Landbruks- og matdepartementet, 2016, kap. 2.5, s. 20). I henhold til produktkrav er det nøyaktighet i skogbruksplanen som står i fokus.

1.2 Nøyaktighet i skogtaksering

Nøyaktighet kan beskrives som graden av likhet mellom et måleresultat og dens sanne verdi. I skogtaksering vil alltid måleresultatet være beheftet med en viss usikkerhet. Usikkerheten

kommer av at det er vanskelig å unngå feil i form av systematiske eller tilfeldige feil i takseringen (Hobbelstad & Nersten, 1994). Den tilfeldige feilen kan defineres som forskjellen mellom en enkeltmåling og et stort antall målinger av den samme størrelsen, utført under de samme betingelsene. Systematisk feil kan defineres som forskjellen mellom middelverdien av et stort antall målinger utført under samme betingelser og den sanne verdien (2017).

Ett sentralt spørsmål i skogbruksplanleggingen er hvor høy nøyaktighet det er mulig å oppnå i taksten, men også hvor høyt nøyaktighet er verdsatt i forhold til kostnad på taksering og kostnad som følge av feil beslutninger. Å gjøre en avveining mellom nøyaktighet og kostnad kan være en utfordring for takstselskapene (Duvemo & Lämås, 2006). Det forskes derfor på nye metoder for å redusere kostnaden og øke nøyaktigheten på skogtakseringen. Teknologien har utviklet seg og takseringsmetodene har gått fra manuell felttaksering til taksering med flybåren laser- og fototakst. Fototakst ble vanlig på starten av 1990- tallet (Fitje, 1989) og flybåren laserskanning kom i 1997 etter fotogrammetrien var introdusert (Næsset, 2002). Flybåren lasertakst er nå den mest brukte, effektive og presise metoden å takserer skog på (Næsset et al, 2004). Det kan likevel være prosedyre å kombinere flybåren lasertakst med prøveflatetakseringer i felt for å øke nøyaktigheten på data, avhengig av hvilke krav som stilles til skogbruksplanen (Hauglin, Gobakken, Astrup, Ene & Næsset, 2014). Hensikten med prøveflatetaksten er å foreta referansemålinger for flybåren takst. Referansemålingene i prøveflatetaksten har som formål å kalibrere for systematiske avvik i flytaksten, da prøveflatetakst har vist seg å gi et mer nøyaktig estimat på skogsdata enn flytaksten (Hauglin et al. 2014). Dette er spesielt tilfellet for brysthøydiameter. Brysthøydiameter i flybåren takst beregnes etter parametre som bonitet, høyde, alder og trekrone. Beregningene fungerer godt i barbestand, men i blandingsbestand som f.eks. i et barbestand med innslag av løvtrær kan det oppstå problemer (Næsset et al, 2004). En forutsetning for prøveflatetakst er at registreringen i prøveflatetaksten gir et bedre estimat på data enn flytaksten, ellers vil kalibreringen være beheftet med systematisk feil.

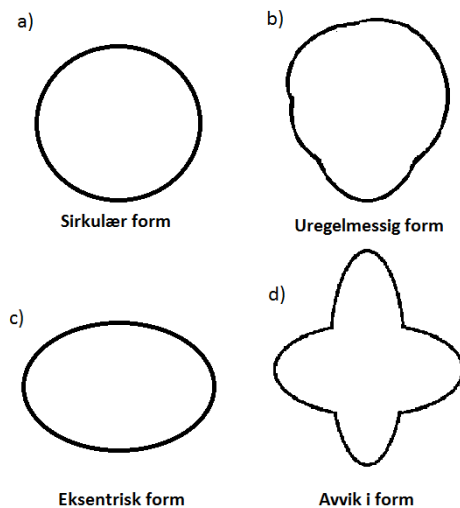
1.2 Måling av brysthøydiameter

Registrering av diameter i prøveflatetakst blir viktigere enn tidligere. Et studium gjort av Eid, Gobakken og Næsset (2005) viser at prøveflatetakst framskaffer bedre data om diameterfordeling enn lasertakst kan klare. De foreslår normal lasertakst med supplementering av prøveflatetakst for oversikt over diameterfordelingen i bestandet. Informasjon om

diameterfordeling i skogen vil i fremtiden bli utslagsgivende for et økonomisk effektivt skogbruk. I skogbruksnæringen har det blitt et annet fokus på kvalitet og dimensjon på tømmeret enn tidligere. Før var pristabellene over sagtømmer hovedsakelig styrt av prima og sekunda kvalitet. Det er nå blitt viktig med «riktig» tømmerkvalitet med hensyn til spesialiserte trelastleveranser. For at skogeiere skal kunne oppfylle kundens preferanse til dimensjon og kvalitet på tømmeret, kreves det informasjon om treantall og om diameterfordeling. Informasjonen om enkelttrær i skogbruksplanen vil bli viktigere, samtidig som kombinasjonen med GIS (geografiske informasjonssystemer) innen skognæringen vil kunne legge til rette for stedfestet informasjon om hvert enkelt tre (Eid et al, 2005).

Måling av brysthøydiameter er også viktig da det danner grunnlaget for beregninger av treets grunnflateareal, volum og konstruksjon av formkurver og tilvekstmodeller (You et al, 2016). Instrumentene som brukes for måling av brysthøydiameter kalles dendrometer (West, 2009). Selv om det i dag forskes på bruken av bakkebasert laserskanning ved måling av brysthøydiameter, benyttes det fremdeles tradisjonelle dendrometre som klave og målebånd ved måling av brysthøydiameter. Dette kan ha sammenheng med at bakkebasert laserskanning fremdeles er for kostbar til å anvendes og at metoden fremdeles er under utvikling (Hauglin et al, 2014). Ifølge mottatt takstinstruks måles brysthøydiameter ved hjelp av elektronisk dataklave. Takstinstruksen viser også til en systematisk klavemetode for måling av brysthøydiameter som tilsvarer samme metode for måling av brysthøyde som i «Bitterlich sampling» (Pulkinnen, 2012). Treet klavens én gang (enkeltklaving) og retningen av klavemålingen bestemmes på grunnlag av senterpunktet i prøveflaten. Som nevnt, kan man ved måling av brysthøydiameter beregne trestammens grunnflateareal (Hédl et al, 2009). Måling av brysthøydiameter ved enkeltklaving vil gi et estimat på et sirkulært areal etter formelen $\pi(\frac{D}{2})^2$, der D er diameter målt i brysthøyde. Estimater av målingen hadde vært ideell om stammen i utgangspunktet hadde hatt en perfekt sirkulær form i horisontal-planet, noe som ikke er eksakt tilfellet. Selv om trestammer er tilnærmet sirkulære, vil de fleste stammer har ulike diameterlengder i ulike retninger i tillegg til at den maksimale og minimale diameterlengden ofte krysser i 90 graders vinkel (Matèrn, s.a.). Dette kan være et resultat av trestammens noe eksentrisk form eller andre uregelmessigheter (Figur 1). Eksempel på uregelmessighet i stammens form er at stammen buler ut mer på enkelte steder enn andre. Utbulinger i stammens form kalles for konveksitet (Pulkinnen, 2012). Uregelmessighet (b) og konveksitet i treets stamme er spesielt tilfellet der stammen har utviklet kvister (West, 2009).

Et studium gjort av Robertson (1991) forklarer at trestammens eksentriske form (c) kan være en respons på trykkende vinder. Den lengste aksen i den eksentriske formen vil korrespondere til den trykkende vindretningen og dermed gi stammen bedre resistans mot vinden.



Figur 1. Formen på trestammer.

Som nevnt tidligere er det vanlig å enkeltklave (som f.eks. i Bitterlich sampling) ved måling av brysthøydiameter og grunnflateareal under den forutsetning at trestammer er sirkulære i form. Alternativt til enkeltklaving kan man i stedet foreta en kryssklaving, gjøre flere klavemålinger eller måle ved bruk av målebånd. Ved kryssklaving av stammen får man ut en geometrisk eller aritmetisk middeldiameter. Aritmetisk middel kan defineres som gjennomsnitt av en rekke målinger (Vatne, 2009). Aritmetisk middeldiameter benyttes oftest i sammenheng med tømmermåling, men kommer også til nytte i taksering ved diametermåling av stammer med høy konveksitet (Gjerdrum, 2002). Geometrisk middel kan defineres som en form for gjennomsnitt som uttrykkes som n -te rot av produktet av n målinger, der n står for antall (Aarnes, 2017). «For tømmer av normal, moderat urundhet antas forskjellen mellom aritmetisk og geometrisk middel å være uten praktisk betydning» (Gjerdrum, 2002, s. 10). Målebåndet representerer et gjennomsnitt av alle diametere i alle retninger, samtidig som den eliminerer variasjonen som forårsakes av retning (Norzahari, Turner, Lim & Trinder, s.a.). Erfaringer tilsier at nøyaktigheten på brysthøydiameter ved bruk av målebånd er innenfor nærmeste millimeter (West, 2009).

1.3 Problemstilling

Hensikten med det foreliggende arbeidet har vært å sammenligne enkeltklaving og aritmetisk og geometrisk kryssklaving ved måling av brysthøydiameter, med hensyn til nøyaktighet. Som følge av de ulike metodene skal også forskjellen i grunnflateareal sammenlignes ved bruk av formel for sirkulært areal. Målemetodene vil også sammenlignes innen ulike diameterklasser, for deretter å sammenlignes på tvers av alle diameterklassene. Metodenes nøyaktighet sammenlignes med måling ved bruk av målebånd, da det på forhånd forventes at målebåndet vil gi et tilnærmet riktig estimat på brysthøydiameter.

1.3.1 Hypotese 1

H_0 : Kryssklaving vil ikke gi et mer nøyaktig estimat på brysthøydiameter enn enkeltklaving på tvers av alle diameterklassene.

H_1 : Kryssklaving vil gi et mer nøyaktig estimat på brysthøydiameter enn enkeltklaving på tvers av alle diameterklassene.

1.3.2 Hypotese 2

H_0 : Grunnflatearealet som følge av kryssklaving vil ikke være større enn arealet av enkeltklaving på tvers av alle diameterklassene.

H_2 : Grunnflatearealet som følge av kryssklaving vil være større enn arealet av enkeltklaving på tvers av alle diameterklassene.

1.3.3 Hypotese 3

H_0 . Målemetodenes forskjell i nøyaktighet ved måling av brysthøydiameter og grunnflateareal vil ikke variere avhengig av diameterklasse.

H_3 : Målemetodenes forskjell i nøyaktighet ved måling av brysthøydiameter og grunnflateareal vil variere avhengig av diameterklasse.

2. Material og metode

2.1 Material

2.1.1 Utvalg og utvalgsmetode

Som utvalgsmetode ble det benyttet et subjektivt utvalg fra populasjonen av furutrær i Evenstadlia (avsnitt. 2.1.2). Utvalget bestod av totalt 150 prøvetrær (statistiske enheter) som ble stratifisert i 3 ulike diameterklasser, 50 prøvetrær i hver diameterklasse, for deretter å bli samlet i en klasse uavhengig av diámetrosmål. Hvert prøvetre skulle måles tre ganger, en gang for hver metode, og observasjonsreplikatene ble derfor avhengige. Totalt antall observasjoner (N) ble $(3 \cdot 50) + (3 \cdot 50) + (3 \cdot 50) = 450$ (Tabell 1). Utgangspunktet for målingene var prøvetræernes brysthøydiameter. Den skulle måles ved bruk av tre ulike målemetoder; enkeltklaving, kryssklaving og målebånd (avsnitt. 2.3).

Tabell 1.

	Diameterklasse 1 (10 – 25 cm. i diameter)	Diameterklasse 2 (25,1 – 35 cm. i diameter)	Diameterklasse 3 (over 35 cm. i diameter)	Totalt
Antall trær	50	50	50	150
Antall målinger	3	3	3	3
Observasjoner	150	150	150	450

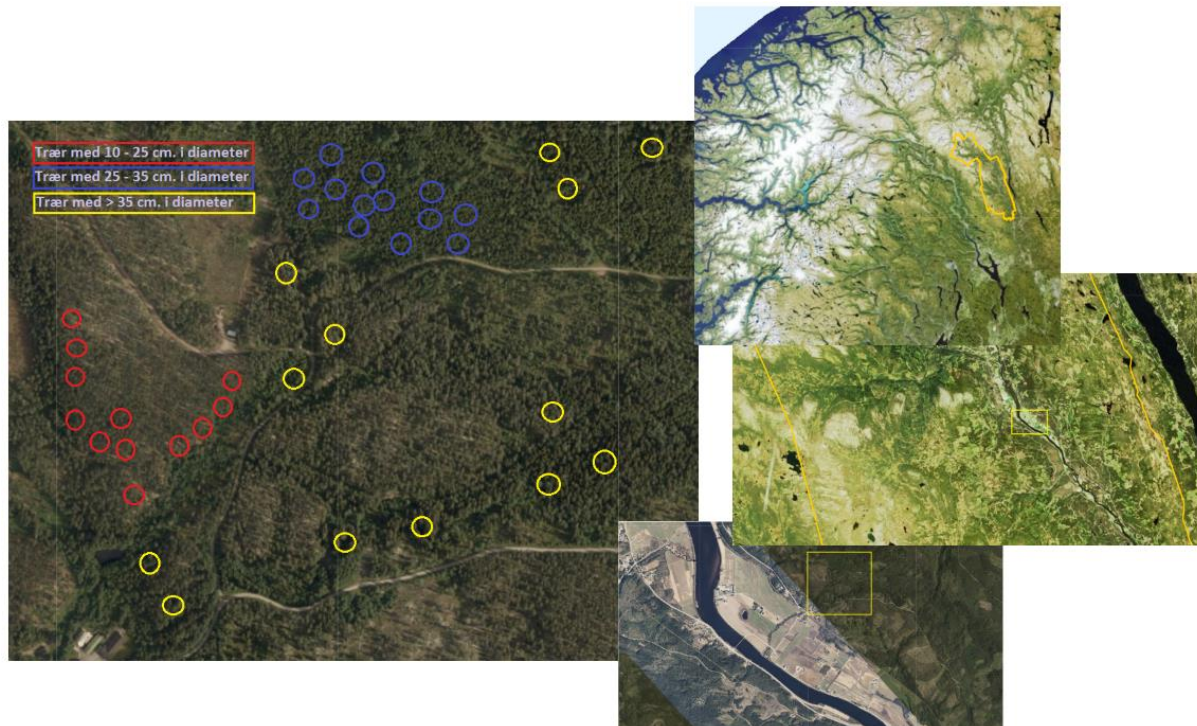
2.1.2 Kriteriene for prøvetre

Studiet har inkludert måling av furutrær som tilfredsstilte følgende kriterier.

Brysthøydiameter ble målt på levende individer med en diameter over 10 cm. Treet ble fremdeles registrert ved forekomst av råte. Individene med krok (trestammer med knekk på over 10 grader) eller avvik i form på de to første meterne på nederste del av treet ekskluderes, da måling av individer med følgende avvik ikke vil gjenspeile formen på et gjennomsnittlig furutre (figur 1, d, s. 6), samt av praktiske årsaker som at registrering av brysthøydiameter med målebånd skal være gjennomførbart i riktig brysthøyde på treet. Eksempel på avvik er når trestammen i ekstreme tilfeller vokser i to retninger eller i spiralform. Trær som står i vanskelig terreng som i bratte helninger (over 25% helning) og i terreng med gjenstander som blokkerer sikt til senterpunktet i prøveflaten har også blitt ekskludert av praktiske årsaker. Det inkluderes kun trær som er tilsynelatende vertikalt rette (< 15 grader). Årsaken er at skjeve trær vil ha et større og mer avlangt horisontalt areal i brysthøydeseksjonen enn vertikalt rette trær.

2.1.3 Studieområde

Datainnsamlingen ble gjort på forskjellige områder i Evenstadlia i Stor-Elvdal kommune, Hedmark fylke, avgrenset av studieområdet som vist under (Figur 2). I dette området var det et mindre antall trær i den store diameterklassen i forhold til den lave diameterklassen. Dette førte til at avstanden mellom trær i den store diameterklassen var større enn avstanden mellom trær i den lave diameterklassen. Avstand og spredning mellom hvert prøvetre i den største diameterklassen var derfor avgjørende for størrelsen på studieområdet.



Figur 2. Evenstadlia, Stor Elvdal kommune, med eksempel på utvalg av prøvetrær i ulike diameterklasser (Norge i bilder, 2015).

2.1.4 Hjelpemidler

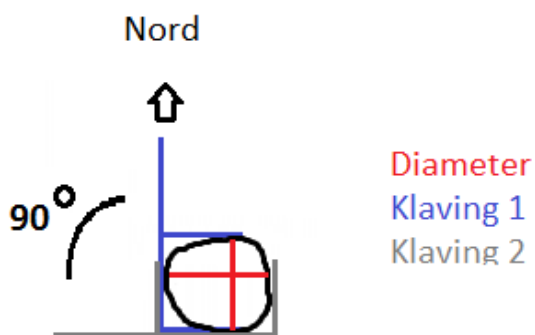
Tilgang til instruks for prøveflatetakst ble tildelt fra MJØSEN SKOG SA, utarbeidet av Blom Geomatics i 2010. Takstinstruksen ble brukt i en takst i Grue Vest. Instruksen er ment som et utgangspunkt for diskusjon i henhold til reelle funn i studiet, da det er bekreftet at instruksen blir benyttet innen kontrolltaksering. Til utstyr for feltregistrering ble det benyttet skjema for registreringsvariabler, kompass for å velge ut første prøvetre for registrering og for å orientere nord-retning ved klaving, målebånd for måling av brysthøydiameter (man kan lese av diameteren direkte fra målebåndet) og manuell klave (millimeter avleser) av den grunn at det ikke var tilgang til elektronisk dataklave. Elektronisk dataklave fungerer på samme måte som

en manuell klave, forskjellen er at den elektroniske dataklaven lagrer målingene elektronisk og man slipper å notere ned målingene på skjema.

2.2 Metode

2.2.1 Feltregistrering

Feltregistrering begynte ideelt i utkanten av furubestandet, men om prøvetrær i aktuelle diameterklasse ikke skulle forekomme i utkanten av første bestandskant ble første prøvetre registrert lenger inn i bestandet. Hvilken retning man gikk fra sist registrerte prøvetre var av mindre betydning så lenge man hadde anledning til å utnytte bestandets areal på en systematisk god måte. Som forslag til utvalg av prøvetrær se *figur 2*. Alle individer som tilfredsstilte kravene som prøvetrær skulle måles (avsnitt 2.1.1). Om kravene ble oppfylt ble det gjort en grov kontroll med klaven for å se om treet var innenfor den aktuelle diameterklassen. Brysthøyden ble kjønnsmessig målt opp før hver diameterregistrering. Brysthøyde vil si 1,1 meter over stubbe avskjær eller 1,3 meter over treet's sentrum ved marknivå. Ved diameterregistrering ble prøvetreet først klavet en gang med enden på klaven pekende mot nord (Figur 3) for deretter å bli klavet i 90 graders vinkel til høyre for treet. Første diameterregistrering utgjorde estimatet til målingen med enkeltklave og både første og andre diameterregistrering utgjorde estimatet til måling med kryssklave. Til slutt skulle trærnes brysthøydiameter måles med målebånd. For hvert prøvetre ble standard registreringsmetode benyttet.



Figur 3. Illustrasjon av enkelt- og kryssklaving.

2.2.2 Databehandling

Ved endt feltregistrering har man variabler for å kunne estimere enkel, aritmetisk og geometrisk brysthøydiameter og grunnflateareal. Forutsetningen for å måle trestammens geometriske middeldiameter var at det var to målinger som stod i 90 graders vinkel i forhold til hverandre, i likhet med tilfellet i feltregistreringen. Trestammens geometriske middeldiameteren får man ut i fra de to diameterne som ble målt ved kryssklaving; D_1 og D_2 . Diameterne brukes til å beregne stammens brysthøydiameter ved formelen $\sqrt{D_1 * D_2}$. Forutsetningen for å måle trestammens aritmetiske middeldiameter var at klavemålingene hadde lik vinkelavstand, i likhet med tilfellet i kryssklavingen. For å finne aritmetisk middeldiameter benyttet man seg av de to diameterne fra kryssklavingen; D_1 og D_2 , i formelen: $\frac{(D_1 + D_2)}{2}$. Ved estimering av grunnflateareal basert på aritmetisk og geometrisk middeldiameter ble formelen for areal av en sirkel; $\pi * R^2$ benyttet. Utregning av trestammens areal både for aritmetisk og geometrisk areal ble da: $\pi * (D_1/2)^2 * (D_2/2)^2$. Ved at formelen for areal av en sirkel ble benyttet ble det forutsatt at trestammens form er mer tilnærmet sirkulær enn elliptisk. Hadde man forutsatt at formen på trestammen hadde vært tilnærmet mer lik elliptisk enn sirkulær ville formelen for arealet av en ellipse blitt benyttet. Studiets avgjørelse om at trestammen er tilnærmet sirkulær i form tok utgangspunkt i Pulkinnen's beslutning om at formen på trestammer er mer sirkulær enn elliptisk (2012).

2.2.3 Statistisk analyse

Ved analyse av data ble det benyttet et statistisk program kalt Rcmdr 2.2-3 (Fox, J. og Bouchet-Valat, M. 2015) pakken i R 3.2.3 (R Development Core Team 2014). Resultatet ble fremstilt i en oversiktstabell som ble utarbeidet i Excel.

Datamaterialet i dette studiet ble sortert i 8 ulike datasett basert på diameterklasse, areal og diameter. Innen hvert datasett ble følgende variabler arrangert i hver sin kolonne: målebånd, enkeltklaving og aritmetisk og geometrisk kryssklaving. Disse variablene (målemetodene) ble betraktet som kontinuerlige variabler, men ettersom formålet med dette studiet ikke var å predikere en sammenheng mellom de ulike målemetodene ved hjelp av en korrelasjons-test, men heller å sammenligne om de ulike målemetodenes gjennomsnitt var forskjellig ved hjelp av en t-test, ble de oppført som kategoriske variabler (grupper). Siden de kategoriske variablene var avhengige (se avsnitt 2.1), ble det benyttet parvis t-test. En parvis t-test avgjør om den gjennomsnittlige forskjellen mellom to sett av observasjoner er lik null (Field, 2012).

Siden en parvis t-test kun sammenligner gjennomsnittet av to sett, vil det være behov for tre tester per datasett, det vil si en test for målebånd og enkeltklaving, en test for målebånd og aritmetisk kryssklaving og en test for målebånd og kryssklaving for hvert datasett.

For å være sikker på at datamaterialet som skulle analyseres faktisk kunne bli analysert ved bruk av parvis t-test, var det fire statistiske forutsetninger som måtte bli møtt:

1. Den første forutsetningen var at data inneholdt en avhengig variabel (utfall) som var estimert på et kontinuerlig nivå. Både brysthøydiameter og grunnflateareal var kontinuerlige variabler.
2. Den andre forutsetningen var at data inneholdt to avhengige variabler som var kategoriske og som var relatert med hverandre. I dette studiet var hver målemetode en kategorisk variabel (gruppe) som var relaterte til hverandre.
3. Den tredje forutsetningen var at det ikke skulle være noen signifikante avvik (ekstreme observasjoner) i forskjellen mellom de to relaterte gruppene, noe som heller ikke var tilfellet da alle de forskjellige målemetodene ga jevnt over liten forskjell i gjennomsnittlig brysthøydiameter og grunnflateareal.
4. Den siste forutsetningen var at data skulle være normalfordelt, selv om den parvise t-testen ble betraktet som «robust» angående brudd på normalitet. Det betydde at brudd på denne forutsetningen kunne bli tolerert til en viss grad og at testen fremdeles vil gi gyldige resultater. Testen forutsatte derfor tilsynelatende normalfordelt data (Field, 2012). Data ble på forhånd oppdelt i bestemte diameterklasser, med like mange statistiske enheter i hver diameterklasse. Data på tvers av diameterklassene ble derfor regnet som normalfordelte. Det kunne være noen ikke-normalfordelte verdier innen hver enkelt diameterklasse, men siden hver diameterklasse bare inneholdt 50 statistiske enheter, var sannsynligheten liten (Field, 2012).

Eventuelle forskjeller i gjennomsnitt mellom de ulike målemetodene som følge av parvis t-test skulle i utgangspunktet fremstilles i et stolpediagram, men ved bruk av stolpediagram i en parvis t-test vil det oppstå ett problem med overlappende konfidensintervaller. Årsaken var at parvis t-test i utgangspunktet eliminerte utenforliggende variabler som stammeform og barktykkelse da observasjonene ble utført på samme individ, og data ville som følge være mer sensitiv (det vil si at prøven hadde en større evne til å indikere om det var en forskjell i gjennomsnitt mellom de ulike målemetodene). Stolpediagrammet i Excel tok derimot ikke hensyn til testens sensitivitet og data ble behandlet som om testen tok utgangspunkt i

uavhengige observasjoner (vanlig t-test), med andre ord ville ikke stolpediagrammet reflektere "riktig" usikkerhet rundt gjennomsnittet for de gjentatte målingene. For å korrigere stolpediagrammet for grafisk feil, måtte det kalkuleres en korrigeringsfaktor (Field, 2012). Kalkulering av korrigeringsfaktor er en relativt komplisert prosess og gjøres som regel av enkelte statistikkprogrammer. I utarbeidelsen av dette studiet, var et slikt program utilgjengelig, og resultatet ble derfor fremstilt i en tabell for å unngå misvisende figurer.

3. Resultat

3.1 Sammenligning av brysthøydediameter og grunnflateareal som følge av de ulike målemetodene

3.1.1 Diameterklasse 1

I følge parvis t-test ble brysthøydediameter overestimert ved bruk av enkeltklaving ($M = 20,38$, $SD = 3,6$, $SE = 0,5$) i forhold til bruk av målebånd ($M = 20,16$, $SD = 4$, $SE = 0,6$) med en økning i gjennomsnitt på 0,22 cm, selv om resultatet ikke er å regne som statistisk signifikant (95% KI [0,69 til 0,25], $t_{49} = -0,94$, $p = 0,18$). Bruk av aritmetisk kryssklaving underestimerte brysthøydediameter ($M = 20,08$, $SD = 4$, $SE = 0,6$) i forhold til bruk av målebånd med en reduksjon i gjennomsnitt på 0,083 cm, selv om resultatet ikke er regne som statistisk signifikant (95% KI [-0,35 til 0,51], $t_{49} = 0,39$, $p = 0,35$). Også bruk av geometrisk kryssklaving underestimerte brysthøydediameter ($M = 20,04$, $SD = 4$, $SE = 0,6$) i forhold til bruk av målebånd med en reduksjon i gjennomsnitt på 6,4 cm, selv om resultatet ikke er å regne som statistisk signifikant (95% KI [-0,29 til 0,52], $t_{49} = 0,58$, $p = 0,28$).

Som følge av de ulike diametermålingene ble grunnflateareal overestimert ved bruk av enkeltklaving ($M = 338,7$, $SD = 130,2$, $SE = 18,4$) i forhold til bruk av målebånd ($M = 329$, $SD = 111$, $SE = 15,7$) med en økning i gjennomsnitt på 9,7 cm², selv om resultatet ikke er å regne som statistisk signifikant (95% KI [-27,63 til 8,21], $t_{49} = -1,0885$, $p = 0,14$). Bruk av aritmetisk kryssklaving underestimerte grunnflateareal ($M = 328,6$, $SD = 124,2$, $SE = 17,6$) i forhold til bruk av målebånd med en reduksjon i gjennomsnitt på 0,3 cm², selv om resultatet ikke er regne som statistisk signifikant (95% KI [-15,13 til 15,82], $t_{49} = 0,0449$, $p = 0,48$). Også bruk av geometrisk kryssklaving underestimerte grunnflatearealet ($M = 327,4$, $SD = 122,8$, $SE = 17,4$) i forhold til bruk av målebånd med en økning i gjennomsnitt på 1,6 cm²,

selv om resultatet ikke er å regne som statistisk signifikant (95% KI [-12,93 til 16,11], $t_{49} = -0,2203$, $p = 0,41$).

3.1.2 Diameterklasse 2

I følge parvis t-test ble brysthøydiameter underestimert ved bruk av enkeltklaving ($M = 30,19$, $SD = 3,2$, $SE = 0,4$) i forhold til bruk av målebånd ($M = 30,57$, $SD = 2,9$, $SE = 0,4$) med en reduksjon i gjennomsnitt på 0,37 cm, selv om resultatet ikke er å regne som statistisk signifikant (95% KI [-0,14 til 0,89], $t_{49} = 1,46$, $p = 0,07$). Bruk av aritmetisk kryssklaving underestimerte brysthøydiameter ($M = 30,19$, $SD = 2,9$, $SE = 0,4$) i forhold til bruk av målebånd med en signifikant reduksjon i gjennomsnitt på 0,38 cm (95% KI [0,06 til 0,69], $t_{49} = 2,43$, $p = 0,009$). Også bruk av geometrisk kryssklaving underestimerte brysthøydiameter ($M = 30,17$, $SD = 3,9$, $SE = 0,4$) i forhold til bruk av målebånd med en signifikant reduksjon i gjennomsnitt på 6,4 cm (95% KI [0,07 til 0,73], $t_{49} = 2,47$, $p = 0,008$).

Som følge av de ulike diametermålingene ble grunnflateareal underestimert ved bruk av enkeltklaving ($M = 723,1$, $SD = 144,9$, $SE = 20,5$) i forhold til bruk av målebånd ($M = 740$, $SD = 138,5$, $SE = 19,6$) med en signifikant reduksjon i gjennomsnitt på 16,9 cm² (95% KI [-6,06 til 39,88], $t_{49} = 1,4793$, $p = 0,07$). Bruk av aritmetisk kryssklaving underestimerte grunnflateareal ($M = 721,9$, $SD = 136,1$, $SE = 19,2$) i forhold til bruk av målebånd med en signifikant reduksjon i gjennomsnitt på 18,2 cm² (95% KI [3,08 til 33,27], $t_{49} = 2,4169$, $p = 0,009$). Også bruk av geometrisk kryssklaving underestimerte grunnflatearealet ($M = 720,8$, $SD = 136,4$, $SE = 19,3$) i forhold til bruk av målebånd med en signifikant reduksjon i gjennomsnitt på 19,2 cm² (95% KI [-51,7 til 64,4], $t_{49} = -0,2203$, $p = 0,008$).

3.1.3 Diameterklasse 3

I følge parvis t-test ble brysthøydiameter underestimert ved bruk av enkeltklaving ($M = 39,1$, $SD = 4$, $SE = 0,6$) i forhold til bruk av målebånd ($M = 40,08$, $SD = 4$, $SE = 0,6$) med en signifikant reduksjon i gjennomsnitt på 0,98 cm (95% KI [0,28 til 1,68], $t_{49} = 2,81$, $p = 0,003$). Bruk av aritmetisk kryssklaving underestimerte brysthøydiameter ($M = 39,35$, $SD = 3,9$, $SE = 0,6$) i forhold til bruk av målebånd med en signifikant reduksjon i gjennomsnitt på 0,74 cm (95% KI [0,03 til 1,43], $t_{49} = 2,11$, $p = 0,02$). Også bruk av geometrisk kryssklaving underestimerte brysthøydiameter ($M = 39,33$, $SD = 3,9$, $SE = 0,6$) i forhold til bruk av målebånd med en signifikant reduksjon i gjennomsnitt på 0,75 cm (95% KI [0,05 til 1,45], $t_{49} = 2,15$, $p = 0,018$).

Som følge av de ulike diametermålingene ble grunnflateareal underestimert ved bruk av enkeltklaving ($M = 1212$, $SD = 248,2$, $SE = 35,1$) i forhold til bruk av målebånd ($M = 1273,2$, $SD = 253,8$, $SE = 35,9$) med en signifikant reduksjon i gjennomsnitt på $61,2 \text{ cm}^2$ (95% KI [16,53 til 105,9], $t_{49} = 2,7533$, $p = 0,004$). Bruk av aritmetisk kryssklaving underestimerte grunnflateareal ($M = 1227,2$, $SD = 248,6$, $SE = 35,2$) i forhold til bruk av målebånd med en signifikant reduksjon i gjennomsnitt på 46 cm^2 (95% KI [1,25 til 90,7], $t_{49} = 2,0657$, $p = 0,02$). Også bruk av geometrisk kryssklaving underestimerte grunnflatearealet ($M = 1226,5$, $SD = 248,6$, $SE = 35,2$) i forhold til bruk av målebånd med en signifikant reduksjon i gjennomsnitt på 187 cm^2 (95% KI [2,14 til 91,35], $t_{49} = 2,1058$, $p = 0,02$).

3.1.4 Uten oppdeling i diameterklasse

I følge parvis t-test ble brysthøydiameter underestimert ved bruk av enkeltklaving ($M = 29,89$, $SD = 8,5$, $SE = 0,7$) i forhold til bruk av målebånd ($M = 30,27$, $SD = 8,9$, $SE = 0,7$) med en signifikant reduksjon i gjennomsnitt på $0,38 \text{ cm}$ (95% KI [0,05 til 0,71], $t_{149} = 2,25$, $p = 0,01$). Bruk av aritmetisk kryssklaving underestimerte brysthøydiameter ($M = 29,87$, $SD = 8,7$, $SE = 0,7$) i forhold til bruk av målebånd med en signifikant reduksjon i gjennomsnitt på $0,4 \text{ cm}$ (95% KI [0,11 til 0,69], $t_{149} = 2,11$, $p = 0,02$). Også bruk av geometrisk kryssklaving underestimerte brysthøydiameter ($M = 39,33$, $SD = 3,9$, $SE = 0,6$) i forhold til bruk av målebånd med en signifikant reduksjon i gjennomsnitt på $0,75 \text{ cm}$ (95% KI [0,05 til 1,45], $t_{149} = 2,72$, $p = 0,002$).

Som følge av de ulike diametermålingene ble grunnflateareal underestimert ved bruk av enkeltklaving ($M = 757,9$, $SD = 401,6$, $SE = 32,8$) i forhold til bruk av målebånd ($M = 780,7$, $SD = 426,6$, $SE = 34,8$) med en signifikant reduksjon i gjennomsnitt på $22,8 \text{ cm}^2$ (95% KI [4,8 til 40,8], $t_{149} = 2,5035$, $p = 0,006$). Bruk av aritmetisk kryssklaving underestimerte grunnflateareal ($M = 759,2$, $SD = 409,5$, $SE = 33,4$) i forhold til bruk av målebånd med en signifikant reduksjon i gjennomsnitt på $21,5 \text{ cm}^2$ (95% KI [5,04 til 38], $t_{149} = 2,5816$, $p = 0,005$). Også bruk av geometrisk kryssklaving underestimerte grunnflatearealet ($M = 758,2$, $SD = 409,5$, $SE = 33,4$) i forhold til bruk av målebånd med en signifikant reduksjon i gjennomsnitt på $22,5 \text{ cm}^2$ (95% KI [6,13 til 38,89], $t_{149} = 2,7159$, $p = 0,003$).

3.1.4 Resultattabell

Tabell 2. Oversikt over estimert brysthøydediameter ved de forskjellige målemetodene; målebånd, enkeltklaving og aritmetisk- og geometrisk kryssklaving i henhold til gjennomsnitt (gj), standardavvik (SD), standardfeil (SE) og signifikans (p-verdi) fordelt på ulike diameterklasser og på tvers av diameterklasse. Signifikans = *.

Brysthøydediameter (cm)						
Gruppe	Målemetode	Gjennomsnitt	Forskjell i gj.	SD	SE	P-verdi
Alle obs.	Målebånd	30,27	0,00	8,9	0,7	-
	Enkeltklaving	29,89	-0,38	8,5	0,7	0,01*
	Arit. Kryss.	29,87	-0,40	8,7	0,7	0,02*
	Geo. Kryss.	29,85	-0,42	8,7	0,7	0,002*
Dk. 1	Målebånd	20,16	0,00	3,6	0,5	-
	Enkeltklaving	20,38	0,22	4,1	0,57	0,35
	Arit. Kryss	20,08	-0,08	4	0,56	0,7
	Geo. Kryss	20,04	-0,12	4	0,56	0,57
Dk. 2	Målebånd	30,57	0,00	2,9	0,4	-
	Enkeltklaving	30,19	-0,38	3,1	0,4	0,07
	Arit. Kryss	30,19	-0,38	2,9	0,4	0,009*
	Geo. Kryss	30,17	-0,40	2,9	0,4	0,008*
Dk. 3	Målebånd	40,1	0,00	4	0,6	-
	Enkeltklaving	39,1	-1,00	4	0,6	0,003*
	Arit. Kryss	39,3	-0,80	3,9	0,6	0,02*
	Geo. Kryss	39,3	-0,80	3,9	0,6	0,018*

Tabell 3. Oversikt over estimert grunnflateareal ved de forskjellige målemetodene; målebånd, enkeltklaving og aritmetisk- og geometrisk kryssklaving i henhold til gjennomsnitt, standardavvik, standardfeil og signifikans fordelt på ulike diameterklasser og på tvers av diameterklasse.

Grunnflateareal (cm ²)						
Gruppe	Målemetode	Gjennomsnitt	Forskjell i gj.	SD	SE	P-verdi
Alle obs.	Målebånd	780,7	0	426,6	34,8	-
	Enkeltklaving	757,9	-22,8	401,6	32,8	0,006*
	Arit. Kryss.	759,2	-21,5	409,5	33,4	0,005*
	Geo. Kryss.	758,2	-22,5	409,5	33,4	0,003*
Dk. 1	Målebånd	329	0	111	15,7	-
	Enkeltklaving	338,7	9,7	130,2	18,4	0,14
	Arit. Kryss	328,6	-0,4	124,2	17,6	0,48
	Geo. Kryss	327,4	-1,6	122,8	17,4	0,41
Dk. 2	Målebånd	740	0	138,5	19,6	-
	Enkeltklaving	723,1	-16,9	144,9	20,5	0,07
	Arit. Kryss	721,9	-18,1	136,1	19,2	0,009*
	Geo. Kryss	720,8	-19,2	136,4	19,2	0,008*
Dk. 3	Målebånd	1273,2	0	253,8	35,9	-
	Enkeltklaving	1212	-61,2	248,2	35,1	0,004*
	Arit. Kryss	1227,2	-46	248,6	35,2	0,02*
	Geo. Kryss	1226,5	-46,7	248,3	35,1	0,02*

4. Diskusjon

Det viste seg at enkeltklaving ga et mer nøyaktig estimat på brysthøydiameter enn både aritmetisk og geometrisk kryssklaving om man ser bort i fra diameterklasser, noe som hverken støtter h_1 - eller h_2 -hypotesen. I den største diameterklassen derimot, ga både aritmetisk og geometrisk kryssklaving et mer nøyaktig estimat på brysthøydiameter og grunnflateareal enn enkeltklaving, og H_3 -hypotesen styrkes. Funnet tyder på at man bør forholde seg til enkeltklaving i prøveflatetaksering på generell basis. Om det derimot skal takseres furutrær over 35 cm. i diameter bør det benyttes kryssklaving for et mer nøyaktig estimat.

Både Matern (1990) og Pulkinen (2012) har gjort lignende studier om sirkulæritet på trestammer og hvilke målemetoder som egner seg best for å estimere stammens brysthøydiameter og grunnflateareal. I begge studiene var fasiten på stammens faktiske form på forhånd beregnet ved hjelp av digitale midler. Det ble benyttet samme målemetoder som i dette studiet, og klaveretningen på målingene ble også bestemt på forhånd om ikke nødvendigvis i retning mot nord. Siden første registrering på hver trestamme ble målt med klaveenden mot nord, vil det ikke nødvendigvis være forholdet mellom stammens maksimale og minimale diameter som kommer til uttrykk, og variasjonen i datasettet blir som følger noe redusert, i likhet med dette studiet. Både Matern og Pulkinen fant at måling ved bruk av målebånd ga det mest nøyaktige resultatet på brysthøydiameter og grunnflateareal i forhold til stammens faktiske brysthøydiameter og grunnflateareal. Det gir utgangspunkt for sammenligning av funnene i dette studiet med funnene i studiet deres, da bruk av målebånd som målemetode ga beste estimat, med tanke på at dette studiet tar utgangspunkt i målebånd som forventningsrett estimat.

Materns studium (1990) var et matematisk studium som var basert på geometriske konsepter, det vil si at målingene ikke ble utført på trær, men på geometriske figurer av stammeformer. Formålet med studiet var å finne hvilke målemetoder som ga det mest nøyaktige estimatet på grunnflateareal som følge av diameter i forhold til stammens matematisk korrekte grunnflateareal. Det ble ved måling av diameter funnet at den geometriske diameteren ga et mer nøyaktig estimat på grunnflateareal enn aritmetisk diameter og enkeltdiameter. I tillegg ga enkeltdiameteren det dårligste estimatet på grunnflateareal. Grunnflateareal som følge av alle målemetodene, inkludert måling med målebånd ble overestimert i forhold til den faktiske

formen på stammen. I dette studiet er det ingen fasit på stammens faktiske form, men alle målemetodene underestimerte estimatet for grunnflateareal i forhold til måling med målebånd.

Pulkinnen (2012) gjorde et omfattende teoretisk studium i Finland om hvordan ikke-sirkulære trestammer påvirker grunnflatearealet og dermed også trestammens totale volum.

Undersøkelsen ble utført på 709 furutrær. Formålet var å estimere den systematiske og tilfeldige variasjonen i grunnflateareal som følge av stammens ikke-sirkulære form ved bruk av ulike målemetoder. Av flere målemetoder, ble det benyttet samme målemetoder som i dette studiet. Som utgangspunkt for sammenligning ble trærne avbarket før målingene og stammeformen fotografert for å beregne fasit på stammeform og grunnflateareal. I likhet med Matern, fant også Pulkinnen at de ulike målemetodene, inkludert måling med målebånd ga en overestimering av grunnflateareal. Pulkinnen konkluderte med at om det skulle måles et fåtall stammer ga måling med målebånd (deretter kryssklaving) det sikreste estimatet.

4.1 Feilkilder

I likhet med dette studiet er det i enkelte andre studier også funnet en overestimering av grunnflateareal med målebånd sammenlignet med klavemetoder (Muller, referert i Matern, s.a.). Chaturvedi (referert i Matern, s.a.) og Assman (referert i Matern, s.a.) har argumentert for at denne overestimeringen er et resultat av feil på instrument og målefeil. Feil på instrumentet er en systematisk feil som f.eks. kan oppstå når klaven er slark. Målefeil er en tilfeldig feil som kan oppstå når man måler brysthøydiameter i feil høyde på treet. Målingen skal skje 1,3 meter over bakken eller 1,1 meter over stubbe avskjær. I feltregistreringen ble avstanden til brysthøyde tatt på kjønn, dvs. den ble målt i forhold til egen brystkasse.

Undersøkelser viser at diametermålinger uten kontroll av brysthøyde gir et høyere estimat på brysthøydiameter enn diametermålinger der brysthøyden blir kontrollert ved hjelp av stav på 1,3 meter (Ranneby et al, 1987). Målefeil kan også oppstå når målebåndet eller klaven har skrå vinkel på stammen eller hvis målebåndet eller grepet på klaven ikke er stram nok. Ved måling i skrå vinkel vil diameter bli større enn hvis diameter ble målt horisontalt på stammen (You, 2016).

Resultatene kan også ha blitt påvirket ved at det har oppstått en systematisk feil ved måling av diameter. Første registreringen på stammen (enkeltklaving) ble målt med klaveenden mot nord, noe som gir en lengre brysthøydiameter om stammen var eksponert for vind fra nord. Som støtte til denne teorien ble det i Pulkinnens studium observert et klart systematisk

retningsmønster i diameter i nedre del av furustammen (2012). Diameter som ble målt mellom sør-vest og nord-øst retning på stammen ga i gjennomsnitt den lengste diameteren og høyest overestimat i grunnflateareal. Diameter som ble målt mellom nord-vest og sør-øst retning var i gjennomsnitt den korteste. Pulkinnen forklarte dette fenomenet ved å henvise til Robertson studium om at vind kan føre til eksentrisk stammeform (1991). En forutsetning for at trestammen kan bli utsatt for vindtrykk er at den er eksponert for vind. Dette kan ha vært tilfellet for trestammer i den største diameterklassen, da disse trærne hadde størst spredning og oftest var å finne i bestandskanter. I mottatt takstinstruks ble det ved registrering av diameter benyttet en systematisk klavemetode som tilsvarer Bitterlich sampling, der retning av klavemålingen bestemmes på grunnlag av senterpunktet i prøveflaten. Klavemetoden vil unngå retningseksponering av vind ved at første registrering av diameter på stammen aldri vil måles i samme retning. Tatt i betraktning at formålet var å finne hvilken klavemetode som gir det mest nøyaktige resultatet ved måling av brysthøydiameter i prøveflatetaksering, burde feltregistrering i dette studiet også blitt utført i henhold til Bitterlich sampling. Treets diameter ble i stedet registrert med klaveenden mot nord for å begrense tidsbruket i studiet.

4.2 Validitet

4.2.1 Utvalg og utvalgsmetode

Sammenligning av de ulike målemetodene ved måling av brysthøydiameter og grunnflateareal ble gjort på furutrær i Evenstadlia. Om resultatet kan generaliseres til å gjelde alle furutrær i Evenstadlia innen de ulike diameterklassene er usikkert, med hensyn til at de utvalgte prøvetrærne ikke var tilfeldig, men subjektivt valgt. Et subjektivt utvalg av prøvetrær kan få konsekvenser om de utvalgte prøvetrærne var mer eksponert mot f.eks. vind enn resten av trærne i populasjonen. Et tilfeldig utvalgt ville vært statistisk representativt da alle trær i populasjonen innen de aktuelle diameterklassene ville hatt lik sjans for å bli valgt, men også mindre tidseffektivt da spredningen mellom utvalget i populasjonen kunne blitt større. I et tilfeldig utvalg skal alle prøvetrærne (også trær langt unna) ha like stor sjanse for å bli valgt. Siden antall prøvetrær i den største diameterklassen var ukjent samtidig som de hadde stor spredning og var vanskelige å finne, ville det kunne tatt lang tid å skaffe en oversikt over samtlige prøvetrær for deretter å gjøre et tilfeldig utvalg. Om resultatet av sammenligningen kan generaliseres til å gjelde furutrær i hele Norge er også usikkert, da det kan være flere faktorer som påvirker konveksitet på trestammer i Evenstadlia enn andre steder i Norge. Resultatet kan heller ikke overføres til andre tresorter enn furu, da det er usikkert om gran har

samme stammeform som furu. Et eksempel er at gran som regel har en større kvistandel på stammen.

Formålet med studiet var å undersøke hvilke målemetode som egner seg å bruke i prøveflatetaksering. Om det hadde vært mulig burde antall prøvetrær i undersøkelsen ha representert antall trær målt i en standard takseringsprosedyre ved prøveflatetaksering, med hensyn til målemetodenenes usikkerhet. Det takseres flere trær i en standard taksering enn trær som er målt i dette studiet, og desto flere målinger som gjøres jo mindre vil den systematiske feilen bli. Usikkerheten rundt estimatet i Pulkinnens studium var betydelig lavere enn usikkerheten som ble funnet på tvers av alle diameterklassene i dette studiet (2012). En årsak kan være at Pulkinnens diameterregistrering ikke foregikk i felt, men ved teoretiske beregninger av diameter. Når diameter ikke registreres i praksis, blir målefeil og systematiske feil som følge av feil på instrument unngått. I tillegg ble det undersøkt et større antall furutrær, noe som er med på å redusere den systematiske feilen.

I henhold til utvalget kan også fordelingen av prøvetrær i de ulike diameterklassene ha vært uheldig i og med at fordelingen ikke nødvendigvis reflekterer forskjellen i antall trær mellom de ulike diameterklassene i henhold til virkeligheten. Et eksempel er at det kan ha vært et større antall trær i diameterklasse 2 enn i diameterklasse 3 i Evenstadlia. Det ble på forhånd ikke funnet noe litteratur om den generelle diameterfordelingen i et typisk bestand og det var derfor ikke mulig med et forhåndsbestemt proporsjonsutvalg.

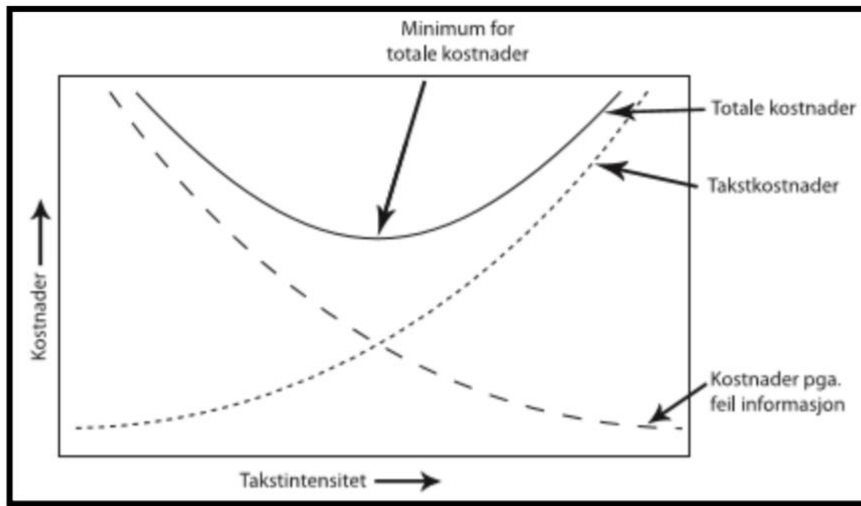
4.2.2 Forventningsrett estimat

Utgangspunktet i studiet er at målebåndet gir et forventningsrett estimat med hensyn til treets faktiske stammeform. I både Pulkinnens (2012) og Materns (1990) studium ga målebåndet det mest nøyaktige estimatet på brysthøydiameter og grunnflateareal. Likevel overestimerte måling med målebånd både brysthøydiameter og grunnflateareal i forhold til stammens faktiske form. Som nevnt i avsnitt 1.2 vil trestammer ha tilfeller av konveksitet. Estimatet fra målebåndet tar kun hensyn til av graden av konveksitet i stammens tverrsnitt. Hvert ikke-konvekse område (område som buler innover) på stammen har et mindre areal og en mindre omkrets enn det målebåndet klarer å fange opp. Når målebåndet legges rundt stammen er derfor arealet som leses av på målebåndet større enn det egentlige arealet av stammen, noe som svekker validiteten til målebånd som et forventningsrett estimat. I tillegg vil de samtlige målemetodenenes estimatet på brysthøydiameter avvike fra stammens faktiske form, da de ikke tar hensyn til stammens bark-andel. Nøyaktigheten på måling av brysthøydiameter ved

bruk av dendrometre kan være innen 1 - 5% av den målte brysthøydiameteren, da instrumentene måler diameter over bark. Siden det samme gjelder for samtlige målemetoder vil ikke validiteten av målebåndet som forventingsrett estimat svekkes. Måling over bark gjøres også i vanlig prøveflatetakst og svekker derfor ikke validiteten til studiet.

4.3 Nøyaktighet i forhold til kostnad

Som nevnt i avsnitt 1.2 blir treets grunnflateareal benyttet for å beregne treets volum (Gjerdrum, 2002). Treets estimerte grunnflateareal er en direkte følge av treets estimert brysthøydiameter. Jo større forskjellen er i estimert brysthøydiameter som følge av de ulike målemetodene, desto større forskjell vil det også bli i estimert grunnflateareal som følge av de ulike målemetodene. Den største forskjellen i estimert brysthøydiameter som følge av de ulike målemetodene finner man ved å måle trestammer med over 35 cm. i diameter i brysthøyde. Derfor vil også valg av målemetode på disse trærne gi størst utslag på volumberegningene. Bruk av enkeltklaving og kryssklaving til måling av brysthøydiameter på 50 trestammer over 35 cm. i diameter ga en gjennomsnittlig forskjell på ca. 15 cm², der bruk av enkeltklaving ga et grunnflateareal på 1212 cm² og bruk av kryssklaving ga et grunnflateareal på ca. 1227 cm². I dette tilfellet vil det gi en forskjell i grunnflateareal på ca. 1%, der estimatet som følge av kryssklaving er nærmest lik det forventningsrette estimatet. Forskjellen er ikke stor, men den er likevel signifikant. Man bør også ta i betraktning at denne forskjellen vil oppstå i prøveflatetaksten. Hensikten med prøveflatetaksten er å forsøke å eliminere eller i hvert fall redusere eventuelle systematiske feil i bestandtaksten (Nersten & Hobbestad, 1994).



Figur 4. Kostnad i forhold til takstintensitet (Eid, Gobakken & Næsset, 2004).

Figur 4 viser sammenhengen mellom kostnad og takstintensitet, der høyere takstintensitet samsvarer med høyere nøyaktighet på taksten. Ved høy takstintensitet vil takstkostnadene øke. Ved lav takstintensitet vil kostnadene øke som et resultat av feil informasjon eller for lite informasjon. For å minimere de totale kostnadene må man finne balansen mellom kostnad og takstintensitet/nøyaktighet.

Spørsmålet blir om det er verdt å kryssklave i stedet for å enkeltklave trær over 35 cm. i diameter, eller eventuelt kryssklave trær som har tilsynelatende eksentrisk eller uregelmessig stammeform. Bruk av kryssklaving vil kreve høyere takstintensitet sammenlignet med bruk av enkeltklaving ved måling av brysthøydiameter. Ved enkeltklaving klaver man trestammen én gang, men i kryssklaving klaver man trestammen to ganger. Hvor lang tid det tar å klave en trestamme i brysthøyde avhenger av faktorer som blant annet trestammens kvistandel i brysthøyden. Dette vil variere mellom hvert enkelt tre, men også mellom treslag. Å kryssklave kan derfor kreve en høyere takstintensitet på gran enn på furu, da gran som regel har en større kvistandel. I dag benyttes det også elektronisk klave over vanlig klave. Det gjør at klaving vil ta kortere tid, da man slipper å notere hver enkelt klaving da den elektroniske klaven lagrer registreringene elektronisk. Å kryssklave med elektronisk klave vil evt. kreve en funksjon for å relatere to klaveregistreringer, noe som kan være dyrt om de ikke allerede har en slik funksjon. Om det skal anvendes kryssklaving i prøveflatetaksering bør det foretas et tidsstudium der man undersøker hvor mye lengre tid det vil ta å kryssklave enn å enkeltklave trær over 35 cm. i diameter, både i gran og furubestand.

Et alternativ til måling av brysthøydiameter vil være å bruke bakkemontert laser. Bakkemonter laser (TLS) har flere egenskaper som gjør den egnet over tradisjonelle dendrometre som klave og målebånd. Den har blant annet muligheten til å måle stammens diameter i ulike høyder på treet, noe som er viktig da treet avtar i diameter tykkelse med økende høyde på treet. I dag er bruk av bakkemontert laser fremdeles for kostbart til å anvendes i praksis, men har potensial for å erstatte manuell felttaksering i fremtiden (Hauglin et al. 2014).

4.4 Konklusjon

Studiet gir støtte til bruken av kryssklaving i stedet for enkeltklaving ved måling av brysthøydiameter på trær over 35 cm. i diameter, da resultatet viser til en forskjell i grunnflateareal på 1%. Det bør likevel foretas lignende studier som kan støtte resultatene i dette studiet før en slik registreringsmetode anvendes. Disse studiene bør legges til rette slik at måle metodene står i samsvar med "Bitterlich sampling", og ikke som i dette studiet der første klaveretning ble registrert mot nord. Diskusjonen om bruk av kryssklaving inkluderer flere faktorer som må tas i betraktning som blant annet takstintensitet/nøyaktighet i forhold til kostnad og feilkilder og validitet i henhold til resultat. Tidsbruken ved å kryssklave sammenlignet med å måle med målebånd er også et sentralt spørsmål, da bruk av målebånd ved måling av brysthøydiameter forventes å gi det beste estimatet. Det vil derfor ikke kunne gis en definitiv konklusjon på om det i enkelte tilfeller bør benyttes kryssklaving ved måling av brysthøydiameter i prøveflatetaksering.

5. Referanser

Aarnes, J. (2015) Geometrisk middel. *Store Norske Leksikon*. Hentet 23. april, 2017 fra: https://snl.no/geometrisk_middel

Duvemo, K. & Lämås, T. (2006). The influence of forest data quality on planning processes in forestry. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 21 (4): 327-339

Eid, T., Gobakken, T. & Næsset, E. (2005). *Bestemmelse av diameterfordeling i bestandssammenligninger av ulike takstopplegg*. (Ina fagrapport nr. 6, 2005). Ås: Universitetet for miljø- og biovitenskap.

Eid, T., Gobakken, T. & Næsset, E. (2005). Comparing stand inventories for large areas based on photo-interpretation and laser scanning by means of cost-plus-loss analyses. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19 (6): 512-523.

Field, A. (2012). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics 4th edition*. London: Sage Publications Ltd

Fitje, A. (1989). *Tremåling*. Landbruksforlaget, Oslo.

Forskrift om tilskudd til skogbruksplanlegging med miljøregistreringer, FOR-2004-02-04-449. (2017). Hentet fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-02-04-449?q=skogbruksplan>

Fox, J. og Bouchet-Valat, M. 2015. The R-Commander. A basic-statistics graphical interface to R. URL: <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Misc/Rcmdr/>

Gjerdrum, P. (2002). *Nøyaktighet ved måling i hogstmaskin* (Norsk institutt for skogforskning).

Hauglin, M., Gobakken, T., Astrup, R., Ene, L. & Næsset, E. (2014). Estimating Single-Tree Crown Biomass of Norway Spruce by Airborne Laser Scanning: A Comparison of Methods with and without the Use of Terrestrial Laser Scanning to Obtain the Ground Reference Data. *Forest*, (5), 384-403.

Hedl, R., Svatek, M., Dancak, M., Rodzay, W., Salleh, B. & Kamariah, S. (2009). A new technique for inventory of permanent plots in tropical forest: a case study from lowland dipterocarp forest in Kuala Belalong, Brunei Darussalam. *Blumea*, (54). 124 – 130.

Landbruks- og Matdepartementet. (2016). Verdi i vekst, konkurransedyktig skog- og trenæring. Hentet fra:

<https://www.regjeringen.no/contentassets/ddf3f9c3c3644672baa26d5d46daf543/no/pdfs/stm201620170006000dddpdfs.pdf>

Liang, X., Kankare, V., Hyypä, J., Wang, Y., Kukko, A., Haggrén, H., ... & Vastaranta, M. (2016). *Terrestrial laser scanning in forest inventories*. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS Rapport 115, 2016).

Nersten, S & Hobbelstad, K. (1994). *Prøveflatetaksering: Del 2; Feil ved prøveflatetaksering*. Aktuelt fra Skogforsk Nr. 7-94.

Norge i bilder (Karttjeneste). (2015). *Evenstadlia* [detaljkart]. Lokalisert på <https://www.norgeibilder.no/>

Norzahari, F., Turner, R., Samsung, L., Trinder, J. (s.a.). *Estimating taper diameter and stem form of pinus radiata in Australia by terrestrial laser scanning*. University of New South Wales.

Næsset, E., Gobakken, T., Holmgren, J., Hyypä, Hannu, Juha, Maltamo, M., Nilsson, M., Olsson, H., kan, et al. (2004). *Laser scanning of forest resources: the nordic experience*. Scandinavian Journal of Forest Research, 19 (6): 482-499.

Næsset, E. (2002). Ressursregistrering med flybåren laser-scanner - snart virkelighet. *Aktuelt fra Skogforsk*, 3/02: 35-38.

Matern, B. (s.a.). On the Geometry of the Cross-section of a Stem. *Statens skogforskningsinstitut*, 46 (11).

Pulkkinen M. (2012). On non-circularity of tree stem cross-sections: effect of diameter selection on cross-section area estimation, Bitterlich sampling and stem volume estimation in Scots pine. *Silva Fennica*, (46). Artikkel id. 924.

Ranneby, B., Cruse, T., Hagglund, B., Jonassen, H. & Swård, J. (1987). Designing a new national forest survey for Sweden. *Studia For. Suecica* (177). 1-29.

R Development Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL: <http://www.R-project.org>.

Robertson, A. (1991). Centroid of wood density, bole eccentricity, and tree-ring width in relation to vector winds in wave forests. *Can J. For Res*, (21), 73 – 82.

Store Norske Leksikon. (2017). Målefeil. *Store norske leksikon*. Hentet 23. april 2017, fra <https://snl.no/målefeil>

Vatne, J. (2009). Aritmetisk middeltall. *Store Norske Leksikon*. Hentet 23. april fra: https://snl.no/aritmetiske_middeltall

You, L., Tang, S., Song, X., Lei, Y., Zang, H., Lou, M. & Zhuang, Z. (2016). Precise Measurement of Stem Diameter by Simulating the Path of Diameter Tape from Terrestrial Laser Scanning Data. *Remote Sensing*, 717 (8).

West, P. (2009a). *Tree and Forest Measurement*. Berlin: Springer.

West, P. (2009b). *Tree and Forest Measurement: 2'nd Edition*. Berlin: Springer

6. Vedlegg

Under følger registreringsskjema for brysthøydiameter og grunnflateareal. Tallene er behandlet for matematiske beregninger.

Brysthøydiameter cm.																	
Furu, 0 - 25 cm						Furu, 25,1 - 35 cm						Furu, x > 35 cm					
nmr	Kryss		Klaving 1	Klaving 2	Målebånd	nmr	Kryss		Klaving 1	Klaving 2	Målebånd	nmr	Kryss		Klaving 1	Klaving 2	Målebånd
	Geo	Arit					Geo	Arit					Geo	Arit			
1	25,0	25,0	25	25	25	1	25,7	25,7	25,9	25,5	25,1	1	44,1	44,1	44,2	44	44,2
2	24,0	24,0	25	23	24	2	28,7	28,7	29,8	27,6	27,7	2	42,4	42,4	42,1	42,7	43,7
3	28,1	28,5	23,6	33,4	20,6	3	32,1	32,2	31,3	33	31	3	38,9	39,0	37,8	40,1	39,6
4	22,4	22,4	23,3	21,5	21,8	4	27,0	27,0	27	27	27,5	4	37,0	37,0	38	36	37,2
5	19,5	19,5	18,9	20,1	19,2	5	24,9	24,9	25,5	24,3	25,2	5	36,1	36,1	37,2	35	37,1
6	22,2	22,3	23,1	21,4	21,9	6	24,1	24,1	23	25,2	25,5	6	48,2	48,2	47,3	49,1	46,7
7	20,3	20,4	21,2	19,5	20,1	7	25,4	25,4	26,5	24,3	26,5	7	40,0	40,1	41,8	38,3	39,7
8	24,4	24,5	25	23,9	23,3	8	30,7	30,8	31,8	29,7	31,7	8	46,8	46,9	46,7	47	46,4
9	23,1	23,2	22,7	23,6	22,6	9	34,1	34,1	34,7	33,5	34,8	9	44,0	44,0	45	43	43,4
10	23,3	23,4	22,8	23,9	22,5	10	31,3	31,4	31,7	31	31,4	10	32,3	32,4	32,7	32	45,9
11	17,9	18,0	17,9	18	18,3	11	32,0	32,1	33	31,1	33,7	11	44,7	44,8	46	43,5	46,9
12	21,7	21,8	22,2	21,3	22,2	12	33,5	33,6	34	33,1	34,3	12	41,4	41,5	42,2	40,7	40,9
13	23,7	23,7	23,6	23,8	23,7	13	34,2	34,2	33,5	34,9	34,6	13	33,8	33,9	33,3	34,4	35,4
14	23,7	23,7	23,4	24	23,8	14	28,3	28,4	29,1	27,6	29	14	37,8	37,9	37,5	38,2	38
15	18,7	18,8	18,7	18,8	19	15	27,1	27,1	27,7	26,5	27,8	15	33,7	33,7	32,7	34,7	35,2
16	22,1	22,2	22,4	21,9	22,1	16	25,0	25,0	25,3	24,7	25,6	16	42,2	42,3	42,8	41,7	41,4
17	22,2	22,3	22,5	22	22,5	17	33,7	33,7	33,4	34	34	17	35,2	35,3	34,7	35,8	35,7
18	15,2	15,5	18,5	12,5	18,3	18	27,2	27,8	22,2	33,4	33,6	18	35,3	35,3	35,6	35	36
19	22,5	22,5	23,5	21,5	22,9	19	29,7	29,7	28,9	30,5	29,8	19	40,7	40,7	38,9	42,5	41
20	18,3	18,3	19	17,6	21,6	20	30,5	30,6	30,5	30,6	31,6	20	35,7	35,8	35,4	36,1	36,1
21	13,2	13,2	13,1	13,3	13,1	21	30,3	30,3	29,7	30,9	31,2	21	40,0	40,0	40	40	48,8
22	16,8	16,8	16,6	17	17	22	28,2	28,3	28,5	28	28,7	22	38,9	38,9	37,1	40,7	39,5
23	22,2	22,2	22,4	22	23,2	23	33,4	33,5	34,3	32,6	34,1	23	35,1	35,1	35,8	34,4	37,5
24	16,3	16,4	16	16,7	16,9	24	33,6	33,7	34,2	33,1	34,4	24	35,6	35,6	35	36,2	36
25	15,8	15,8	15,9	15,7	16,1	25	30,3	30,4	31,1	29,6	30,5	25	36,1	36,1	36,3	35,9	36,8
26	15,4	15,5	15,2	15,7	16,4	26	32,7	32,8	33,1	32,4	32,7	26	35,4	35,4	35,4	35,4	35,1
27	17,5	17,5	17,4	17,6	18,3	27	27,0	27,0	28	26	27,2	27	39,7	39,7	40,1	39,3	40,4
28	18,6	18,6	19	18,2	19,3	28	31,2	31,2	30,7	31,7	31,4	28	35,6	35,6	36	35,2	35,4
29	11,2	11,2	11,3	11,1	11,3	29	34,5	34,5	35,4	33,6	34,2	29	47,9	47,9	47,8	48	47,9
30	16,5	16,5	16,9	16,1	16,9	30	25,8	25,9	26,3	25,4	25,5	30	37,0	37,0	36	38	37,4
31	18,2	18,2	17,9	18,5	18,9	31	32,2	32,3	33,3	31,2	32	31	35,8	35,9	35,7	36	36,8
32	16,3	16,4	16,5	16,2	16,8	32	29,0	29,0	29	29	29,3	32	39,9	39,9	39	40,8	41,7
33	24,1	24,1	25,3	22,9	24,7	33	27,4	27,4	27,8	27	27,3	33	41,8	41,8	39,9	43,7	42,5
34	14,8	14,8	15,3	14,3	15,2	34	34,0	34,1	34,3	33,8	34,4	34	45,1	45,3	41,8	48,7	41,9
35	18,9	19,0	19,7	18,2	19,1	35	32,1	32,3	28,9	35,6	29	35	36,2	36,2	37,6	34,8	36,7
36	17,1	17,1	18	16,2	17,7	36	34,5	34,6	33,3	35,8	34,9	36	37,2	37,3	37,7	36,8	37
37	18,1	18,1	18,6	17,6	18,8	37	29,2	29,2	30,2	28,2	29,6	37	39,0	39,1	39,2	38,9	39,6
38	23,6	23,7	23,8	23,5	24	38	30,2	30,3	30,4	30,1	30,1	38	35,0	35,0	33,5	36,5	35,2
39	23,0	23,0	23	23	22,9	39	27,6	27,7	27,3	28	28,3	39	41,3	41,3	41,1	41,5	43
40	23,5	23,5	23,8	23,2	23,8	40	28,8	28,9	29	28,7	29,1	40	36,3	36,3	35,6	37	32,5
41	17,2	17,3	17,4	17,1	17,9	41	30,4	30,5	30,1	30,8	30,8	41	43,7	43,7	44,3	43,1	43,7
42	13,3	13,4	14,1	12,6	13,4	42	30,3	30,4	31,4	29,3	30,1	42	39,0	39,0	37,7	40,3	39,4
43	12,4	12,5	12,9	12	13	43	31,4	31,5	31,9	31	31,7	43	37,7	37,7	36,7	38,7	38,4
44	23,4	23,4	22,9	23,9	24	44	34,2	34,2	33,2	35,2	33,5	44	38,6	38,6	38,5	38,7	39,1
45	22,0	22,0	22,2	21,8	22	45	30,1	30,1	29,5	30,7	30,4	45	35,3	35,3	35	35,6	36,3
46	23,7	24,4	30,2	18,6	20	46	29,4	29,5	29,2	29,7	31,6	46	41,9	41,9	41,9	41,9	42
47	28,1	28,1	29	27,2	28,8	47	28,4	28,4	28,6	28,2	28,7	47	41,2	41,2	41,2	41,2	43
48	21,4	21,5	21,1	21,8	21,2	48	34,2	34,3	35,3	33,2	34,8	48	41,7	41,8	40,5	43	41,7
49	18,3	18,4	18,7	18	19,1	49	31,2	31,3	30,8	31,7	31,7	49	43,6	43,7	43,3	44	43,2
50	22,2	22,3	22,5	22	22,8	50	30,6	30,6	30,1	31,1	30,8	50	44,5	44,5	43,3	45,7	45,1

Grunnflateareal cm ² . (ved bruk av formelen for sirkel)														
Furu, 0 - 25 cm ²				Furu, 25 - 35 cm ²				Furu, x > 35 cm ²						
nmr	Kryssklaving		Målebånd	Enkeltklaving	nmr	Kryssklaving		Målebånd	Enkeltklaving	nmr	Kryssklaving		Målebånd	Enkeltklaving
	Geo	Arit				Geo	Arit				Geo	Arit		
1	490,6	490,6	490,6	490,6	1	518,5	518,5	494,6	526,6	1	1526,7	1526,7	1533,6	1533,6
2	451,4	452,2	452,2	490,6	2	645,6	646,6	602,3	697,1	2	1411,2	1411,2	1499,1	1391,3
3	618,8	637,6	333,1	437,2	3	810,8	811,4	754,4	769,1	3	1189,9	1190,9	1231,0	1121,6
4	393,2	393,9	373,1	426,2	4	572,3	572,3	593,7	572,3	4	1073,9	1074,7	1086,3	1133,5
5	298,2	298,5	289,4	280,4	5	486,4	486,7	498,5	510,4	5	1022,1	1023,0	1080,5	1086,3
6	388,1	388,6	376,5	418,9	6	455,0	455,9	510,4	415,3	6	1823,1	1823,7	1712,0	1756,3
7	324,5	325,1	317,1	352,8	7	505,5	506,5	551,3	551,3	7	1256,7	1259,1	1237,2	1371,6
8	469,0	469,3	426,2	490,6	8	741,4	742,3	788,8	793,8	8	1723,0	1723,0	1690,1	1712,0
9	420,5	420,7	400,9	404,5	9	912,5	912,8	950,7	945,2	9	1519,0	1519,8	1478,6	1589,6
10	427,8	428,0	397,4	408,1	10	771,4	771,5	774,0	788,8	10	821,4	821,5	1653,8	839,4
11	252,9	252,9	262,9	251,5	11	805,6	806,4	891,5	854,9	11	1570,8	1572,0	1726,7	1661,1
12	371,2	371,4	386,9	386,9	12	883,4	883,6	923,5	907,5	12	1348,3	1348,7	1313,2	1398,0
13	440,9	440,9	440,9	437,2	13	917,8	918,2	939,8	881,0	13	899,2	899,5	983,7	870,5
14	440,9	440,9	444,7	429,8	14	630,5	630,9	660,2	664,7	14	1124,5	1124,6	1133,5	1103,9
15	276,0	276,0	283,4	274,5	15	576,2	576,5	606,7	602,3	15	890,7	891,5	972,6	839,4
16	385,1	385,1	383,4	393,9	16	490,6	490,6	514,5	502,5	16	1401,0	1401,3	1345,5	1438,0
17	388,6	388,6	397,4	397,4	17	891,4	891,5	907,5	875,7	17	975,2	975,4	1000,5	945,2
18	181,5	188,6	262,9	268,7	18	582,1	606,7	886,2	386,9	18	978,1	978,2	1017,4	994,9
19	396,6	397,4	411,7	433,5	19	691,9	692,4	697,1	655,6	19	1297,8	1300,3	1319,6	1187,9
20	262,5	262,9	366,2	283,4	20	732,6	732,6	783,9	730,2	20	1003,2	1003,3	1023,0	983,7
21	136,8	136,8	134,7	134,7	21	720,4	720,7	764,2	692,4	21	1256,0	1256,0	1869,4	1256,0
22	221,5	221,6	226,9	216,3	22	626,4	626,5	646,6	637,6	22	1185,3	1187,9	1224,8	1080,5
23	386,8	386,9	422,5	393,9	23	877,8	878,3	912,8	923,5	23	966,7	967,1	1103,9	1006,1
24	209,8	209,8	224,2	201,0	24	888,6	888,9	928,9	918,2	24	994,6	994,9	1017,4	961,6
25	196,0	196,0	203,5	198,5	25	722,6	723,1	730,2	759,3	25	1023,0	1023,0	1063,1	1034,4
26	187,3	187,4	211,1	181,4	26	841,9	842,0	839,4	860,1	26	983,7	983,7	967,1	983,7
27	240,4	240,4	262,9	237,7	27	571,5	572,3	580,8	615,4	27	1237,1	1237,2	1281,2	1262,3
28	271,5	271,6	292,4	283,4	28	764,0	764,2	774,0	739,9	28	994,8	994,9	983,7	1017,4
29	98,5	98,5	100,2	100,2	29	933,7	934,3	918,2	983,7	29	1801,1	1801,1	1801,1	1793,6
30	213,6	213,7	224,2	224,2	30	524,4	524,6	510,4	543,0	30	1073,9	1074,7	1098,0	1017,4
31	260,0	260,0	280,4	251,5	31	815,6	816,4	803,8	870,5	31	1008,9	1008,9	1063,1	1000,5
32	209,8	209,8	221,6	213,7	32	660,2	660,2	673,9	660,2	32	1249,1	1249,7	1365,0	1194,0
33	454,8	455,9	478,9	502,5	33	589,2	589,3	585,1	606,7	33	1368,7	1371,6	1417,9	1249,7
34	171,8	171,9	181,4	183,8	34	910,1	910,1	928,9	923,5	34	1598,0	1607,3	1378,2	1371,6
35	281,5	281,9	286,4	304,7	35	807,6	816,4	660,2	655,6	35	1027,2	1028,7	1057,3	1109,8
36	228,9	229,5	245,9	254,3	36	935,8	937,1	956,1	870,5	36	1089,1	1089,2	1074,7	1115,7
37	257,0	257,2	277,5	271,6	37	668,5	669,3	687,8	716,0	37	1197,0	1197,0	1231,0	1206,3
38	439,1	439,1	452,2	444,7	38	718,3	718,3	711,2	725,5	38	959,9	961,6	972,6	881,0
39	415,3	415,3	411,7	415,3	39	600,1	600,2	628,7	585,1	39	1338,9	1339,0	1451,5	1326,0
40	433,4	433,5	444,7	444,7	40	653,4	653,4	664,7	660,2	40	1034,0	1034,4	829,2	994,9
41	233,6	233,6	251,5	237,7	41	727,8	727,9	744,7	711,2	41	1498,8	1499,1	1499,1	1540,6
42	139,5	139,9	141,0	156,1	42	722,2	723,1	711,2	774,0	42	1192,7	1194,0	1218,6	1115,7
43	121,5	121,7	132,7	130,6	43	776,3	776,4	788,8	798,8	43	1114,9	1115,7	1157,5	1057,3
44	429,6	429,8	452,2	411,7	44	917,4	918,2	881,0	865,3	44	1169,6	1169,6	1200,1	1163,6
45	379,9	379,9	379,9	386,9	45	710,9	711,2	725,5	683,1	45	978,1	978,2	1034,4	961,6
46	441,0	467,4	314,0	716,0	46	680,8	680,8	783,9	669,3	46	1378,2	1378,2	1384,7	1378,2
47	619,2	619,8	651,1	660,2	47	633,1	633,1	646,6	642,1	47	1332,5	1332,5	1451,5	1332,5
48	361,1	361,2	352,8	349,5	48	920,0	920,9	950,7	978,2	48	1367,1	1368,3	1365,0	1287,6
49	264,2	264,3	286,4	274,5	49	766,4	766,6	788,8	744,7	49	1495,6	1495,7	1465,0	1471,8
50	388,6	388,6	408,1	397,4	50	734,8	735,0	744,7	711,2	50	1553,4	1554,5	1596,7	1471,8